

Optimasi Pembuatan Komposit dari *Nanoclay* Polistiren

Eka Puspa Sari^{1*}, Saeful Rohman², Isalmi Aziz¹

¹Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Syarif Hidayatullah Jakarta

Jl. Ir.H. Juanda No.95 Ciputat 15412

²Sentra Teknologi Polimer (STP) BPPT PUSPITEK Serpong Tangerang Selatan

*Email : ekapuspa52@gmail.com

Abstrak

Pengembangan teknologi dapat dilakukan dengan rekayasa material, salah satunya pada pembuatan komposit. Pada pengembangan komposit berbasis polistiren *nanoclay*, faktor utama yang menentukan keberhasilan dalam peningkatan sifat material adalah pendispersian *nanoclay* dalam matrik polimer yaitu masuknya molekul polimer diantara lapisan silika sehingga *nanoclay* akan terdistribusi secara acak kedalam matrik polimer. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi yang terbaik dari komposit *nanoclay* polistiren dan menentukan karakteristiknya. Parameter yang divariasikan adalah komposisi *nanoclay* (1%, 3% dan 5%) dan lamanya putaran pada mesin ekstruder (50, 80 dan 120 rpm). Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi *nanoclay* 3% pada kecepatan *screw* 50 rpm memiliki nilai terbaik pada uji kuat tarik, yaitu sebesar 55,15 MPa dengan nilai *d-spacing* (berdasarkan uji XRD) sebesar 4,6nm. Hasil pengamatan dengan menggunakan SEM menunjukan telah terbentuk interkalasi pada komposit *nanoclay*- polistirena.

Kata kunci : *Nanoclay*, komposit, polistiren, XRD, SEM

Abstract

Technology development can be done with materials engineering , one of them in the manufacture of composites . On the development of polymer -based *nanoclay* composites, the main factor that determines the success in improving the material properties are dispersing of *nanoclay* in the polymer matrix , namely the inclusion of the silica layer between the polymer molecules, so *nanoclay* will be randomly distributed into the polymer matrix . This study aims to get the best composition of *nanoclay* composite polystyrene and determine its characteristics . The parameters varied are the *nanoclay* composition (1 % , 3 % and 5 %) and the length of the extruder machine in the range of (50 , 80 and 120 rpm). The results showed that 3 % *nanoclay* concentration at 50 rpm screw speed has the best value on the tensile strength test, which amounted to 55.15 MPa with *ad - spacing* values (based on XRD test) of 4.6 nm . Using SEM observations showed intercalation was formed on polystyrene - *nanoclay* composites

Keywords : *Nanoclay* , composites , polystyrene, XRD, SEM

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini lempung (*clay*) sudah digunakan sebagai penguat pada material komposit. Penambahan *clay* dalam polimer biasanya bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik seperti kuat tarik, modulus kekakuan dan meningkatkan daya tahan tembus oksigen (Sirousazer *et al.*, 2007). Penambahan *clay* yang berukuran nano dalam *matriks* polimer dapat meningkatkan kekuatan sifat material polimer dalam bentuk komposit *nanoclay*-

polimer. Meningkatnya sifat mekanik pada komposit tersebut sangat bergantung pada pendispersian partikel *nanoclay* dalam matrik polimer serta kompatibilitasnya. Secara konvensional, *nanoclay* sudah lama digunakan sebagai *filler* (bahan tambahan) dalam produk seperti cat, komposit, kosmetik bahkan secara tersendiri *nanoclay* sudah digunakan sebagai pelumas pada penggalian minyak bumi dan pemutihan/pemucatan pada minyak goreng (Senda dan Hidayat, 2003). Pemanfaatan

nanoclay sebagai penguat pada komposit polimer pernah dibuat yaitu komposit dengan matrik poliamid (*nylon*) dan digunakan sebagai bahan komponen kendaraan oleh tim dari peneliti Toyota (Rohman, 2009).

Perkembangan bidang sains dan teknologi mulai menyulitkan bahan konvensional seperti logam untuk memenuhi keperluan aplikasi baru, bidang angkasa luar, perkapalan, *automobile*, dan industri pengangkutan merupakan contoh aplikasi yang memerlukan bahan-bahan berdensitas rendah, tahan karat, kuat, dan kokoh. Kebanyakan bahan konvensional seperti logam walaupun kuat tetapi mempunyai densitas yang tinggi (Hendra dan Ginting, 2002). Pengembangan teknologi dapat dilakukan dengan rekayasa material, salah satunya pada pembuatan komposit. Pembuatan polimer komposit dilakukan dengan memadukan dua material yang berbeda sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik dari material tersebut. Rekayasa material dapat dilakukan dalam ukuran berskala nano (Ria *et al.*, 2011).

Peningkatan sifat-sifat mekanik dan termal dalam komposit *nanoclay*-polimer terbentuk ketika terjadi sinergi yang dimiliki oleh kedua material tersebut. Interaksi sinergi inilah yang diharapkan dalam sistem komposit. Dalam komposit *nanoclay*-polimer interaksi sinergi bisa dilakukan dengan adanya kontak permukaan silika dan polimer serta terjadinya interkalasi atau eksfoliasi lapisan-lapisan silika *montmorillonite* dalam matrik polimer. Untuk membantu terjadinya proses penyebaran dari *montmorillonite* maka ada beberapa hal yang dilakukan diantaranya perlakuan permukaan silika *nanoclay* sebelum pencampuran, yaitu dengan menambahkan senyawa organik ionik atau surfaktan pada lapisan-lapisan silikanya (Wanget *et al.*, 2003).

Material *nanoclay* bersifat *hydrophilic*, sedangkan polimer pada umumnya bersifat *hydrophobic*, oleh karenanya *nanoclay* dengan polimer tidak mudah untuk dipersatukan (*incompatible*). Masing-masing material memiliki kecenderungan untuk bersatu diantara sesamanya (aglomerasi) sehingga akan menjadi sulit dalam pendispersian *nanoclay* dalam matrik polimer karena adanya perbedaan kecenderungan itu, maka diperlukan suatu perlakuan yang baik terhadap *montmorillonite* maupun terhadap polimer polistirena (Rohman, 2009). Pengembangan polimer komposit *nanoclay* ini memiliki

banyak keuntungan dibandingkan pengembangan komposit konvensional. Dalam hal komposisi, polimer komposit *nanoclay* hanya membutuhkan *filler* dalam jumlah sedikit yakni sekitar 1% hingga 5% dari massa komposit karena ukuran partikel *filler* yang berukuran nano, sedangkan untuk komposit konvensional membutuhkan penambahan *filler* hingga 30% (Retno, 2010).

Dalam pembuatan komposit berbasis polimer- *nanoclay* ini, faktor utama yang menentukan keberhasilan dalam peningkatan sifat material adalah pendispersian *nanoclay* dalam matrik polimer yaitu masuknya molekul polimer diantara lapisan silikat sehingga *nanoclay* ini akan terdistribusi secara acak ke dalam matrik polimer (Retno, 2010). Oleh sebab itu, dalam penelitian ini dilakukan usaha untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik komposit yang dapat dilakukan dengan cara memvariasi komposisi *nanoclay* dan lamanya putaran pada mesin ekstruder.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium penelitian STP (Sentra Teknologi Polimer) BPPT PUSPIPTEK Serpong dan Pusat Laboratorium Terpadu (PLT) UIN Syarif Hidayatullah Jakarta. Pelaksanaannya dimulai dari bulan Juni sampai Oktober 2012.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan antara lain: *Twin Screw Extruder Collin E 30 M Injection Molding Battenfeld BA 400 CD*, alat uji tarik merk *Shimadzu AGS-10KNGC*, *Scanning Electron Microscop (SEM)* merk *Jeol Jsm-6510LA*, *X-Ray Diffraction (XRD)* *Shimadzu XRD 7000 Maxima X*, *Spectrofotometer Infra Red (FTIR)* *Perkin Elmer* dan alat-alat gelas.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: *Polystyren* jenis *Denka Styrol* buatan Singapura, *compatibilizer* PS-g-MA (*block polystyren graf anhidrida maleic*), *Organoclay* jenis *cloisite 20A*, antioksidan jenis *irgafos 168*.

Pembuatan Komposit Polistiren

Polistirena, *organoclay*, PS-g-MA dan antioksidan (*irgafos 168*) dengan komposisi tertentu (Tabel 1) dicampur, kemudian dimasukkan ke dalam *feer Twin Screw*

Extruder Collin E 30M. Kondisi operasi dilakukan pada temperatur *barrel* 170 °C dengan variasi kecepatan rotasi yaitu: 50, 80 dan 120 rpm untuk masing-masing komposisi. Hasil yang didapat kemudian di *crusher* menjadi potongan kecil-kecil.

Tabel 1. Formulasi Komposit *Nanoclay*

Kandungan	Komposisi (% berat)	Kecepatan <i>Screw</i> (rpm)
PS/clay/PS-g-MA/irgs 168	97/1/1/1	50, 80, 120
PS/clay/PS-g-MA/irgs 168	95/3/1/1	50, 80, 120
PS/clay/PS-g-MA/irgs 168	93/5/1/1	50, 80, 120

Pembuatan Spesimen Uji

Komposit *nanoclay*-polistiren yang dihasilkan kemudian dibuat specimen uji dengan alat *Injection Molding Battenfeld BA 400 CD*.

Karakterisasi Komposit *Nanoclay*-Polistiren Uji Tarik

Hasil spesimen dari proses *Injectin Molding* yang dihasilkan sebelum dilakukan uji kuat tarik terlebih dahulu dikondisikan pada temperatur 23°C dengan kelembaban 50% selama 24 jam. Penentuan kuat tarik dilakukan berdasarkan standard pengujian internasional ASTM D – 638. Alat yang digunakan adalah mesin UTM merk *Shimadzu AGS-10KNGC*, yang sebelumnya dikondisikan terlebih dahulu.

Karakterisasi dengan XRD

Sampel dituang ke *sampler holder*, kemudian dipadatkan dan diratakan permukaannya. Selanjutnya *sampler holder* tadi dipasang kedalam *goniometer* yang telah diset parameter pengukurannya, yaitu dengan menggunakan radiasi Cu Ka dengan kecepatan 0,5⁰/menit dan 2 θ (1-10)⁰.

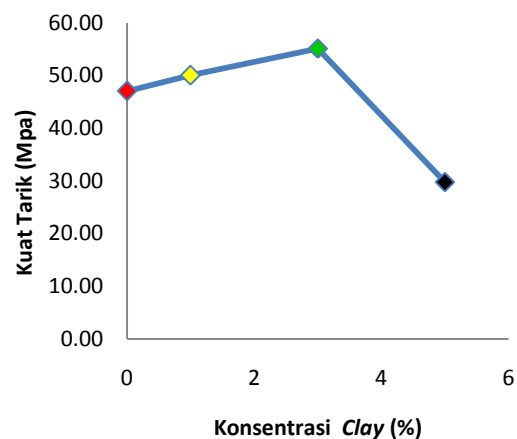
Karakterisasi Mikrostruktur Menggunakan SEM

Sampel di *coating* platinum (Pt) dengan kondisi vakum sampai 2,7.10⁻³ bar. Kemudian detektor diisi dengan N₂ cair. Selanjutnya *electron beam* dinyalakan, dan siap dianalisa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Konsentrasi *Nanoclay* dan Kecepatan Mesin Ekstrusi Terhadap Kuat Tarik Komposit

Kuat tarik adalah besar beban maksimum persatuan luas penampang awal

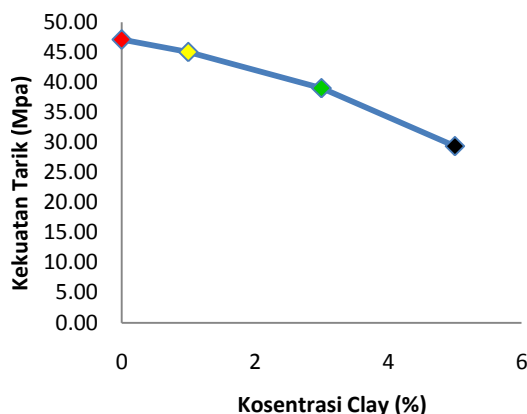


Gambar 1. Pengaruh konsentrasi *nanoclay* terhadap kekuatan tarik (Kecepatan ekstruder 50rpm)

dari sampel. Kuat tarik menunjukkan kemampuan untuk menerima beban atau tegangan tanpa menyebabkan komposit menjadi rusak atau putus ini dinyatakan dengan tegangan maksimal sebelum putus yaitu *ultimate tensile strength* (UTS) (Porwanto dan Lizda, 2003). Dalam material komposit kekuatan bahan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya oleh perbandingan relatif antara *matriks* dan bahan penguat pada bahan komposit tersebut, yaitu berapa banyak *nanoclay* yang ditambahkan pada *matriks* polimer tersebut dibandingkan dengan bahan kompositnya, bentuk geometri dan distribusi *nanoclay* pada matriks serta interaksi antara matriks dengan *nanoclay* yang biasa dikenal dengan ikatan bidang antar-muka (*interfacial bond*) (Kartini, 2002). Berikut ini adalah gambar pengaruh konsentrasi *nanoclay* terhadap kuat tarik komposit.

Grafik diatas menggambarkan sifat kuat tarik pada specimen. Dari hasil yang diperoleh untuk kecepatan putar ekstruder 50 rpm dengan konsentrasi *nanoclay* 1% nilai kuat tariknya sebesar 50,09 Mpa dan konsentarsi *nanoclay* 3%, sebesar 55,15 Mpa. Untuk konsentarsi *nanoclay* 5% nilai kuat tarik sebesar 29,83 Mpa, hal ini dimungkinkan konsentrasi *nanoclay* lebih dari 3% membuat komposit tidak dapat terbentuk secara baik.

Pada kecepatan putar ekstruder 80 rpm (Gambar 2) konsentrasi *nanoclay* 1% nilai kuat tarik sebesar 45,05 Mpa, konsentrasi 3% sebesar 39,03 Mpa dan konsentrasi 5% sebesar 29,41 Mpa. Nilai kuat tarik semua komposisi

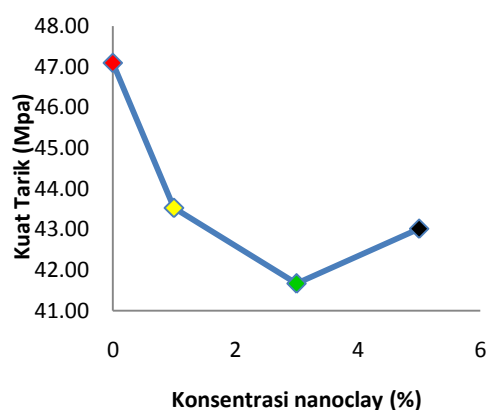


Gambar 2. Pengaruh konsentrasi *nanoclay* terhadap kekuatan tarik (kecepatan ekstruder 80 rpm)

dibawah nilai kontrol (konsentrasi *nanoclay* 0 %). Hal ini disebabkan interaksi antara polistirena, *coupling agent* PS-g-MA dan *nanoclay* belum sempurna. Dorongan putar mesin yang lebih cepat menyebabkan penyebaran *nanoclay* dan PS-g-MA pada matrik polimer tidak merata selain itu kecepatan putar ekstruder menentukan sebaran partikel-partikel penyusun komposit. Pada mesin ekstruksi terdapat sembilan bagian yang setiap bagian memiliki suhu yang berbeda, jika bahan – bahan penyusun komposit terlalu cepat melewati suatu bagian maka komposit tidak akan terbentuk secara sempurna namun jika terlambat komposit akan gosong dan ikatan yang terbentuk akan rusak.

Untuk kecepatan putar ekstruder 120 rpm (Gambar 3) nilai kuat tarik konsentrasi *nanoclay* 1% sebesar 43,53 Mpa, konsentrasi *nanoclay* 3% sebesar 41,67 Mpa, dan konsentrasi *nanoclay* 5% sebesar 43,02 Mpa. Semua konsentrasi mengalami penurunan kuat tarik jika dibandingkan dengan kontrol, Semakin tinggi dorongan putaran mesin justru membuat penyebaran partikel penyusun komposit sulit menyebar dan mengisi rongga-rongga pada matrik polimer sehingga ikatan antara PS-*nanoclay* dan PS-g-MA tidak dapat terbentuk secara baik. Konsentrasi PS-g-MA sebagai *coupling agent* yang hanya 1% dari keseluruhan komposisi komposit menyebabkan sulitnya *nanoclay* berikatan dengan polistirena yang bersifat *hydrophobic*.

Nilai kuat tarik terendah pada konsentarsi *nanoclay* 5% (80rpm) sebesar 29.41 Mpa. Hal ini dikarenakan penggabungan *nanoclay* lebih dari 3% menurunkan kuat tarik



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi *nanoclay* terhadap kuat tarik (kecepatan ekstruder 120 rpm)

yang dimungkinkan karena terjadi aglomerasi. Aglomerasi dipercaya menjadi tempat konsentrasi tegangan dan menjadi awal terjadinya retak sehingga kekuatan akan menurun (Kusmono, 2010). Selain itu, faktor variasi kecepatan putar ekstruder (50,80 dan 120 rpm) dapat menyebabkan penyebaran PS-g-MA, *nanoclay* dan polistirena berbeda-beda sehingga ikatan bidang antar muka pada komposit *nanoclay*-polistirena menjadi berbeda-beda pada setiap spesimen. Ikatan yang tidak sempurna akan menyebabkan cacat pada spesimen uji, sehingga mengakibatkan retakan yang mengarah pada kerusakan dan patahan saat dilakukan uji tarik. Dari keseluruhan hasil uji tarik kecenderungan kuat tarik komposit *nanoclay*-polistirena yang diperoleh bersifat fluktuatif. Menurunnya nilai kuat tarik pada komposit *nanoclay*-polistirena dimungkinkan karena ikatan *adhesif* antara partikel polistirena dengan permukaan silika dari *nanoclay* masih rendah bila dibandingkan dengan ikatan *kohesif* yang terjadi diantara molekul polistirena. Dari data yang diperoleh kenaikan nilai kuat tarik tidak terlalu signifikan, namun pada konsentarsi *nanoclay* 1% dan 3% pada kecepatan putar ekstruder 50 rpm menunjukkan nilai kuat tarik rata-rata diatas nilai kontrol sedangkan untuk konsentarsi *nanoclay* 5% kuat tarik rata-rata dibawah nilai kontrol pada semua kecepatan putar ekstruder. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *nanoclay* dan kecepatan putar ekstruder berpengaruh terhadap peningkatan kuat tarik. Penyebab kekuatan utama berkurang pada *nanoclay* karena terjadi pengurangan jarak antar-lapisan, sehingga

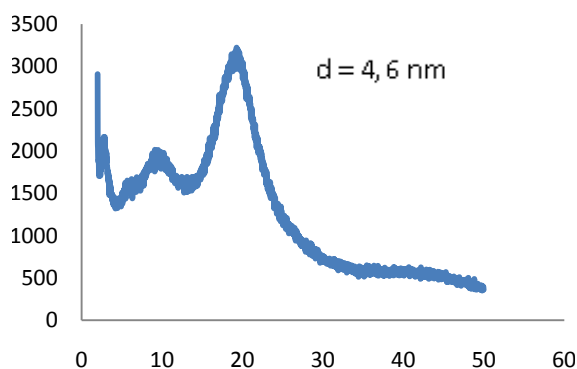
mengurangi rantai polimer yang berikatan antar lapisan silikat, ikatan rantai intra yang akhirnya menghasilkan kekuatan mekanik berkurang. Perlu dicatat bahwa polistirena merupakan zat yang sangat hidrofobik tanpa afinitas untuk berinteraksi dengan zat hidrofilik. Peningkatan kekakuan akibat adanya *nanoclay* disebabkan karena sifat dasar dari *nanoclay* sendiri merupakan material yang memiliki kekakuan tinggi yang kemudian membatasi gerakan molekul polimer (Kusmono, 2010).

Analisa XRD

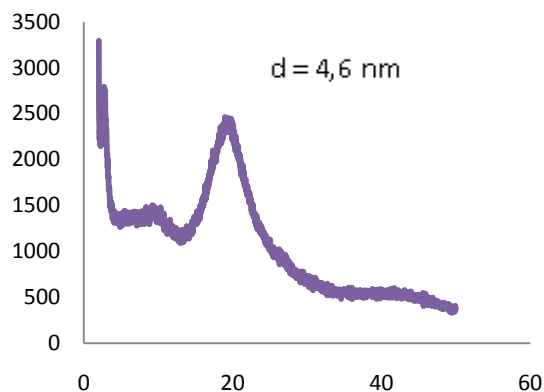
Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui morfologi pendispersian lapisan silikat pada matriks polistirena dengan mengetahui *d-spacing* antar lapisan silikat pada matriks polistirena. Nilai *d-spacing* yang didapat dari pengujian XRD dapat digunakan untuk mengetahui morfologi dari komposit *nanoclay*-polistirena yakni *immiscible*, interkalasi atau eksfoliasi. Analisis XRD diambil dari hasil uji tarik pada kecepatan ekstruder 50 rpm yang memiliki nilai kuat tarik diatas nilai control, spektrum hasil XRD komposit *nanoclay* polistirena dapat dilihat pada Gambar 4, 5 dan 6.

Dari ketiga Gambar diatas untuk konsentrasi *nanoclay* 1% dan 3% memiliki nilai *d - spacing* yang sama yaitu sebesar 4,6 nm sedangkan konsentrasi *nanoclay* 5 % nilai *d - spacing* hanya 3,8 nm.

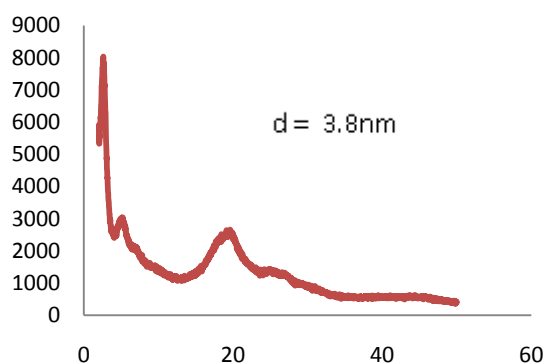
Berdasarkan penelitian Josseph (2008), morfologi pada nanokomposit di bedakan menjadi tiga yakni *immiscible*, interkalasi dan eksfoliasi. Pada kasus *immiscible*, lapisan silikat pada matriks polimer membentuk agregat atau dengan kata lain masuknya rantai polimer pada silikat. Hasil pengujian XRD



Gambar 4. Hasil pengujian XRD komposit PS-*nanoclay* (konsentrasi *nanoclay* 1%)



Gambar 5. Hasil pengujian XRD komposit PS-*nanoclay* (konsentrasi *nanoclay* 3 %)



Gambar 6. Hasil pengujian XRD komposit PS-*nanoclay* (konsentrasi *nanoclay* 5 %)

pada nanokomposit dengan morfologi *immiscible* memiliki persamaan dengan hasil pengujian XRD *organoclay* sebelum ditambahkan polimer, yang hasilnya tidak mengalami pergeseran nilai *d-spacing*. Pada kasus *organoclay* yang tereksfoliasi dengan baik pada matriks polimer, hasil pengujian dengan *wide angel* XRD tidak memperlihatkan adanya *peak* karena tidak terjadi jarak lapisan silikat yang reguler, dan antar lapisan silikat lebih besar daripada *wide angel* XRD *scattering* yang dapat di deteksi. Hasil pengujian XRD dapat juga memperlihatkan adanya pergeseran *peak* kearah 2θ yang lebih rendah atau dengan kata lain bergeser kearah *d-spacing* yang lebih besar. Adanya *peak* menunjukkan bahwa tidak terjadi struktur eksfoliasi pada komposit *nanoclay*-polistirena.

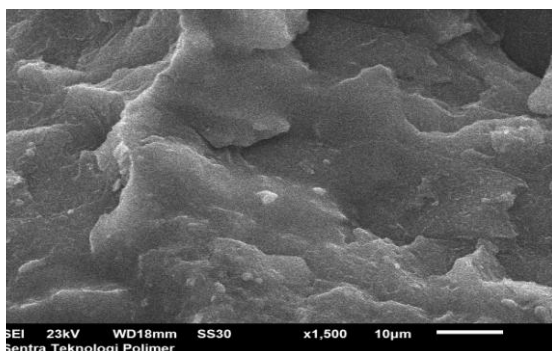
Uji Mikro Struktur Dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Struktur mikro komposit *nanoclay*-polistirena dianalisis dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* perbesaran

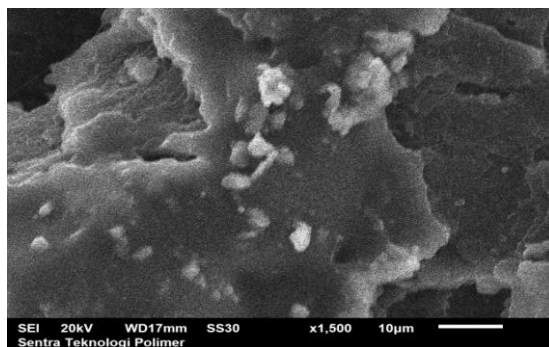
1500 kali. Sebelum dianalisis spesimen dilapisi partikel platinum, pelapisan ini dimaksudkan untuk membantu konduktifitas komposit *nanoclay*-polistirena sehingga seluruh permukaan dapat diamati secara merata sesuai dengan ratanya pelapisan dengan partikel platinum tersebut. Hasil pengamatan dengan menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 7.

Dari gambar 7 dilihat persebaran *nanoclay* dengan ukuran *agregat* yang kecil menunjukkan bahwa *nanoclay* dapat tersebar dalam matrik polimer dan berikatan dengan polimer, dari bentuk sebaran partikel maka dapat di perkirakan bahwa telah terbentuk interkalasi pada komposit, sebaran partikel *nanoclay* yang lebih baik dapat meningkatkan sifat mekanik dari material komposit tersebut. Hasil analisis SEM pada konsentrasi 3% dan 5% dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9

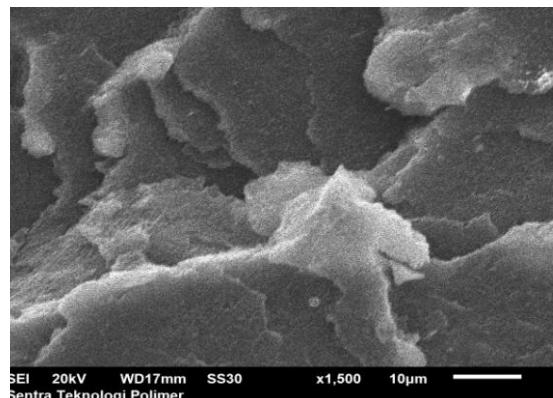
Dari Gambar SEM hasil fabrikasi dengan menggunakan mesin pencampur *twin screw extruder* terlihat bahwa sebaran/distribusi *nanoclay* masih ada yang kurang merata dengan terlihat adanya



Gambar 7. SEM dari komposit *nanoclay* – polistirena (konsentrasi *nanoclay* 1%, 50 rpm)



Gambar 8. SEM dari komposit *nanoclay* – polistirena (konsentrasi *nanoclay* 3%, 50 rpm)



Gambar 9. SEM dari komposit *nanoclay* – polistirena (konsentrasi *nanoclay* 3%, 50 rpm)

aglomerasi dari partikel *nanoclay*. Aglomerasi dari partikel *nanoclay* ditunjukkan dengan tanda panah kuning pada Gambar 8. Aglomerasi ini terbentuk akibat kurang sempurnanya distribusi partikel *nanoclay* dalam proses pencampuran namun demikian aglomerasi tidak terbentuk pada semua bagian permukaan dari komposit. Lapisan silikat yang tersebar secara individu memiliki luas kontak permukaan yang besar sehingga dapat berikatan kuat dengan matrik polistirena yang selanjutnya memberikan efek pada peningkatan kekuatan tarik (Kusmono, 2010). Untuk Gambar 9 penyebaran partikel *nanoclay* lebih tidak merata hal ini dimungkinkan terjadinya ikatan yang kurang sempurna antara PS-g-MA, *nanoclay* dan polistirena atau tidak terjadi ikatan antara PS-g-MA dan *nanoclay* sehingga partikel *nanoclay* sulit berikatan dengan permukaan polistirena karena polistirena bersifat *hydrophobic* sedangkan *nanoclay* bersifat *hydrophilic* yang menyebabkan *nanoclay* banyak yang keluar dan tidak dapat berikatan secara baik. Selain itu kecepatan putar ekstruder yang bervariasi yaitu 50,80 dan 120 rpm mempengaruhi persebaran partikel *nanoclay* dengan kecepatan putar ekstruder yang rendah 50 rpm untuk konsentrasi *nanoclay* 5%, justru *nanoclay* tidak dapat tersebar secara baik dilihat dari uji kuat tarik untuk konsentrasi *nanoclay* diatas 3% nilai kuat tarik mengalami penurunan dibandingkan dengan nilai kuat tarik dari control yang ada hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi *nanoclay* menyebabkan komposit tidak terbentuk secara baik. Selain itu dari hasil uji XRD untuk konsentrasi *nanoclay* 5% nilai d-spacingnya

hanya 3,8 nm bila dibandingkan dengan konsentrasi 1% dan 3% yaitu 4,6 nm.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh dapat disimpulkan bahwa:

1. Komposit *nanoclay*-polistirena yang terbaik didapatkan pada konsentrasi *nanoclay* 3% dengan nilai kuat tarik 55,15 Mpa kecepatan putar ekstruder 50 rpm, dan nilai *d-spacing* 4,6 nm.
2. Hasil pengamatan dengan menggunakan SEM menunjukkan telah terbentuk interkalasi pada komposit *nanoclay*-polistirena.

DAFTAR PUSTAKA

- Joseph, R.S., 2008. *“Improving the Exfoliation of Layered Silicate in a Poly(ethylene terephthalate) Matrix Using Supercritical Carbon Dioxide”*. (Thesis) Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University
- Kartini, R., 2002. *“Pembuatan Dan Karakterisasi Komposit Polimer Berpenguat Serat Alam”*. (Skripsi) Institut Pertanian Bogor
- Kusmono, 2010. *Studi Sifat Mekanik Dan Morfologi Nanokomposit Berbasis Poliamid6/Polipropilen/Clay*, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) Palembang
- Hendra, M dan Ginting, S., *“Pengendalian Bahan Komposit”*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara
- Porwanto D A, dan Lizda Johar M, 2003 *“Karakterisasi Komposit Berpenguat Serat Bambu Dan Serat Gelas Sebagai Alternatif Bahan Baku Industri”*. FTI Institut Teknologi Surabaya
- Ria, D, B., Rudi, H. dan Santoso, 2011, *“Pengaruh Komposisi Montmorillonite pada Pembuatan Polipropilen-Nanokomposit terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasannya”*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
- Rohman, S., 2009 *“Fabrikasi Nanokomposit NanoClay-polipropilen Menggunakan Mesin Pencampur Twin Screw Extruder”*. (Tesis) Universitas Indonesia. Indonesia
- Retno, A., 2010. *“Pengaruh Penambahan OrganoClay Terhadap Sifat Mekanik Dan Termal Pada High Density Polyethylene-Organoclay nanokomposit”* (Skripsi). Universitas Indonesia. Depok
- Senda, P, S., dan Hidayat, S, A., 2003, *Teknologi Proses Pengolahan Bentonit untuk Bleaching Earth*, Prosiding Seminar Teknologi untuk Negeri, Vol.III, hal. 94-100.
- Sirousazer, M., Mortaza, Y., Bahram, F.A., Jalal, A., dan Yoqub, M., 2007 *“Polypropylene/Monmorillonite Nanocomposites For Food Packaging”* J. Polymers, No. 027
- Wang, Z, M., Nakajima, H., Manias, E., and Chung, T, C., 2003. *Exfoliated PP/Clay Nanocomposites For Mormorillonite Macromolecular*, Vol 36.